

УДК 622.276

doi:10.20998/2413-4295.2019.01.01

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖПРОМИСЛОВИХ ГАЗОПРОВОДІВ

**В. Б. ВОЛОВЕЦЬКИЙ\*, О. М. ЩИРБА**

Український науково-дослідний інститут природних газів «УкрНДІгаз», Харків, УКРАЇНА  
\*e-mail: vvb11@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Проаналізовано наявний стан двох міжпромислових газопроводів: одного від установки попереднього підготовки газу (УППГ) Наріжнрянського нафтогазоконденсатного родовища (НГКР) до установки комплексного підготовки газу-2 (УКПГ-2) Юліївського НГКР та другого – від УКПГ-1 Скворцівського НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР. У різні періоди року визначено гідравлічну ефективність міжпромислових газопроводів, яка перебуває в широкому діапазоні: від 75 % до 98 % на одному і від 69 % до 96 % на другому. Досліджено режими роботи міжпромислових газопроводів. Визначено об'єм забруднень на промислах за допомогою розрахунків. Проведено промислові дослідження з вимірювання об'єму забруднень, які транспортують разом із газом, на вимірювальних лініях УКПГ-2 у сепараторах та розділювачах. Встановлено, що об'єм забруднень, визначений за результатами проведених експериментальних досліджень, є більший за розрахункові значення. Сформульовано основні чинники, що негативно впливають на гідравлічну ефективність газопроводу. Контролювання наведених основних чинників дасть змогу не допустити зниження коефіцієнта гідравлічної ефективності та зменшення об'єму транспортованого газу, а також забезпечити досягнення планових показників з видобутку. Встановлено основні причини зниження гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів у зв'язку із накопиченням рідинних забруднень у внутрішній порожнині та гідратуутворенням. Запропоновано шляхи розв'язання цих проблем, які впровадили, а також застосовують на виробництві у теперішній час. Зокрема, закачують розчин ПАР за допомогою пересувного насосного агрегату, створюють швидкісний газовий потік для винесення накопиченої рідини із внутрішньої порожнини міжпромислових газопроводів на УКПГ-2 Юліївського НГКР та подають метанол за допомогою наявних насосів із УППГ Наріжнрянського НГКР та УКПГ-1 Скворцівського НГКР. Автори запропонували низку заходів для запобігання аваріям та відмовам, які забезпечать надійну експлуатацію міжпромислових газопроводів. Системність проведених досліджень дасть змогу оцінити можливість виникнення ускладнень через накопичення рідини та відкладання гідратів.

**Ключові слова:** свердловина; газ; міжпромисловий газопровід; накопичення рідини; гідратуутворення; гідравлічна ефективність

## INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC EFFICIENCY OF GATHERING GAS PIPELINES

**V. VOLOVETSKYI\*, O. SHCHYRBA**

Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases «UkrNDIgaz», Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The current state of two gathering gas pipelines was analyzed in the article: the first – from the gas gathering station (GGS) of the Narizhniyske oil and gas condensate field (OGCF) to the complex gas treatment unit-2 (CGTU-2) of the Yuliivske OGCF; the second – from the CGTU-1 of the Skvortsivske OGCF to the CGTU-2 of the Yuliivske OGCF. At different times of the year the hydraulic efficiency of gathering gas pipelines was determined, which was in a wide range from 75 % to 98 % on the first, and from 69 % to 96 % on the second gathering gas pipeline respectively. The operating modes of gathering gas pipelines were studied. The volume of contamination in the fields was determined using calculations. The industrial research to measure the volume of contamination, transported together with gas on the CGTU-2 measuring lines, was performed in separators and segregators. It was established that the volume of contamination, determined based on the results of experimental investigations, was higher than the calculated value. The main factors that negatively influence the hydraulic efficiency of gas pipelines were defined. The monitoring of these main factors will prevent the reduction of the hydraulic efficiency coefficient and decrease in the volume of transported gas, it will also help to achieve the planned production figures. The authors determined the main reasons for the reduction in the hydraulic efficiency of gathering gas pipelines resulting from the accumulation of liquid contaminants in the inner cavity and hydrates formation. The proposed solutions to these problems were introduced and are still used in production. In particular, a surfactant solution is fed using a mobile pumping unit, a high-speed gas stream is created to remove the accumulated liquid from the internal cavity of field gas pipelines operating with the CGTU-2 of the Yuliivske OGCF and methanol is supplied using the available pumps from the GGS of the Narizhniyske OGCF and CGTU-1 of the Skvortsivske OGCF. The authors proposed a series of measures to prevent the emergencies and failures and ensure the reliable operation of gathering gas pipelines. The consistency of performed investigations will help to estimate the occurrence probability of complications caused by the accumulation of liquid and hydrates formation.

**Keywords:** well; gas; gathering gas pipeline; liquid accumulation; hydrates formation; hydraulic efficiency

### Постановка проблеми у загальному вигляді

Під час розроблення газоконденсатних родовищ на виснаження у свердловинах відбувається поступове зниження пластових тисків та дебітів.

Через це свердловини можуть експлуатуватися на таких режимах, за яких наявний дебіт наближається або менший від мінімально-необхідного, що забезпечує стабільну роботу свердловин. Отже, за

умови зниження швидкості газового потоку менше граничного значення спостерігають накопичення рідини як на вибої свердловини, так і у шлейфі. Це негативно впливає на забезпечення стабільного технологічного режиму експлуатації свердловин та на рівень видобутку вуглеводнів.

Окрім цього, експлуатування свердловин за умови поступового зниження робочих тисків має негативний вплив на забезпечення процесу низькотемпературної сепарації, який застосовують для промислового підготовки газу на багатьох родовищах. Унаслідок цього може відбуватися погіршення ефективності процесу підготовки газу через зниження робочих тисків, а також стає неможливим забезпечити оптимальні температурні режими низькотемпературної сепарації. Важливо зауважити, що в разі зниження робочих тисків, спостерігають зазвичай змину продуктивності свердловини по газу і рідині, що може погіршити ефективну роботу сепараційного обладнання через змінення діапазону навантажень за газовою та рідинною фазами. Через це під час транспортування вуглеводневої сировини від однієї установки підготовки газу до іншої у міжпромислових газопроводах виникають ускладнення, пов'язані з накопиченням рідини.

Актуальними залишаються питання очищення внутрішньої порожнини міжпромислових газопроводів від забруднень, основними з яких є рідинна фаза (вода та вуглеводневий конденсат), що потрапляють унаслідок механічного винесення разом із газом із сепараторів на установках підготовки газу (УПГ). Рідина утворюється також за сприятливих термодинамічних умов унаслідок конденсування під час руху газу газопроводом. Важливим чинником, що впливає на накопичення рідини, є відсутність швидкісного режиму руху газового потоку. Унаслідок накопичення рідини у внутрішній порожнині газопроводів відбувається збільшення гідравлічного опору окремих ділянок, що є причиною збільшення додаткових втрат тиску.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні проблему очищення газопроводів від води, вуглеводневого конденсату, механічних домішок найчастіше розв'язують за допомогою:

- пристроїв постійної дії (дрипи, розширювальні камери тощо);
- пристроїв періодичної дії (очищувальних поршнів, йоршів тощо);
- переведення газопроводу в режим самоочищення (продування газопроводу).

На газопроводах з профілем траси як з рівномірно прохідними ділянками, так і з наявністю багатьох місцевих опорів (трійники, відводи, розширення, звуження тощо) та понижених ділянок на практиці застосовують пристрої постійної дії. Для цього встановлюють різні конструкції дрипів,

розширювальних камер, уловлювачів, дренажних трубок тощо.

Широкого вжитку набув метод очищення газопроводів очищувальними пристроями. У порівнянні з іншими методами він має такі переваги: простота, значна ефективність та можливість автоматизувати процес [1]. Під час застосування цього методу є й певні ускладнення, що полягають у швидкому зношуванні робочих вузлів, можливості виникнення гідравлічних ударів і застрягання очищувального пристрою в трубі, а також у тому, що реалізування цього методу можливе тільки в газопроводах з рівнопрохідною арматурою та плавними переходами. Ураховуючи те, що міжпромислові газопроводи це непрямолінійні ділянки та вони мають значну кількість місцевих опорів (засувки, трійники, відводи, розширення, звуження тощо), висхідні та низхідні ділянки, існує небезпека застрягання очищувального пристрою. Тому такий метод для очищення міжпромислових газопроводів застосовувати недоцільно, адже для його використання потрібні певні умови [2].

Простим і доступним методом очищення газопроводів вважають продування зі зниженням тиску через відкритий переріз труби на амбар у атмосферу. Цей метод можна використовувати на газопроводах будь-якого діаметру. Однак у цього методу є недоліки: втрати газу та забруднення довкілля. Через це на практиці застосовують продування зі зниженням тиску – переведенням газопроводу на менший вхідний тиск, що забезпечує збільшення швидкості газового потоку на певний період часу.

У роботі [3] проаналізовано наявний стан міжпромислового газопроводу, яким газ із УППГ Наріжниського ГКР надходить на УКПГ-2 Юліївського НГКР. Проведено розрахунки із визначення гідравлічної ефективності міжпромислового газопроводу: за формулою (1) вона становила 0,81, а за формулою (2) – 0,96. Визначено об'єм забруднень у міжпромисловому газопроводі за формулою УкрНДІгазу, який складає 3,3 м<sup>3</sup> рідини з використанням формули (1) та 0,7 м<sup>3</sup> з використанням формули (2). Результати розрахунків об'єму забруднень є наближеними, оскільки на практиці вдалося вилучити рідину з міжпромислового газопроводу на вимірювальну лінію УКПГ-2, зокрема у сепаратор та розділювач і її об'єм становив 3,5 м<sup>3</sup>. Отже, об'єм забруднень у міжпромисловому газопроводі, визначений розрахунковим та експериментальним шляхом, відрізняється, а різниця становить близько 6 %. Аналізування причин утворення рідинних забруднень у порожнині міжпромислового газопроводу свідчить про можливість їх появи внаслідок: механічного крапельного винесення рідини із сепаратора ГС-1, конденсування рідини з газового потоку за сприятливих термодинамічних умов трасою міжпромислового газопроводу. Також

можливе залпове викидання рідини із сепаратора ГС-1 у міжпромисловий газопровід. Для забезпечення надійної роботи міжпромислового газопроводу запропоновано: послідовно під'єднати два сепаратори: основний ГС-1 та дослідний ГС-2, періодично закачувати розчин ПАР та за результатами досліджень обрати оптимальний режим для створення високошвидкісного потоку газу і винесення рідини з внутрішньої порожнини на УКПГ-2 Юліївського НГКР.

У роботі [4] проаналізовано стан міжпромислового газопроводу, яким газ із УКПГ-1 Сквирицького НГКР транспортують на УКПГ-2 Юліївського НГКР. Проведено розрахунки із визначення швидкості газового потоку, що становила 5,9 м/с та 5,2 м/с, а також гідравлічної ефективності міжпромислового газопроводу – 0,89 та 0,71 відповідно за умов стабільної роботи та виникнення ускладнень. Основними ускладненнями в роботі міжпромислового газопроводу є накопичення рідини та гідратуутворення. Рідинні забруднення у внутрішній порожнині утворюються внаслідок: механічного крапельного винесення рідини із сепараційного обладнання першого ступеня, конденсації рідини з газового потоку трасою, зниження швидкості газового потоку. За результатами досліджень встановлено, що найефективнішим методом очищення внутрішньої порожнини є створення високошвидкісного потоку газу для винесення рідини. Для запобігання відкладанню гідратів запропоновано подавання метанолу у міжпромисловий газопровід за допомогою насосів із технологічної установки УКПГ-1 Сквирицького НГКР. Раціональним методом боротьби з гідратуутворенням є періодичне закачування інгібітору гідратуутворення за допомогою пересувного насосного агрегату різними способами.

З огляду на вище викладене для встановлення основних причин зниження гідравлічної ефективності доцільно дослідити її для двох міжпромислових газопроводів: одного від УППГ Наріжнянського НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР, а другого від УКПГ-1 Сквирицького НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР.

Для розв'язання проблеми очищення міжпромислових газопроводів треба з'ясувати причини надходження рідини, визначити її кількість. Це дасть змогу контролювати будь-яке зміння робочих параметрів під час експлуатування та своєчасно вживати заходи з очищення газопроводів. Від якості очищення внутрішньої порожнини газопроводів залежить їхня гідравлічна ефективність. Тому потрібно прагнути досягнути значення коефіцієнта гідравлічної ефективності газопроводу після очищення близько 1,0 (100 %). З практичного досвіду відомо, щоб досягнути високого значення коефіцієнта гідравлічної ефективності треба декілька разів застосовувати оптимальний метод з очищення внутрішньої порожнини газопроводу. У окремих

випадках застосовують комбінацію різних методів у певній послідовності. Окреслена проблема є актуальною та пов'язана з вивченням гідродинаміки газорідних сумішей. Багато дослідників, зокрема Мамаєв В.А., Кутателадзе С.С., Телетов С.Г., Франкль Ф. І., Делей Ж.М., Марон В.І., Сахаров В.А., Мохов М.А., Капцов І.І., Одішарія Г.Є., Гусейнов Ч.С., Уолліс Г., Хьюїт Д., Холл-Тейлор Н., Баттерворс Д. та інші вивчали у своїх працях гідродинаміку газорідних сумішей. Аналізуючи роботи дослідників, можна зауважити, що об'єм забруднень у газопроводах, розрахований теоретичним шляхом, відрізняється від визначеного експериментально. Тому вказану проблему треба вивчати більш детально [4].

#### Формулювання мети статті

Мета цієї статті – дослідити гідравлічну ефективність міжпромислових газопроводів для встановлення причин її зниження, запобігання аваріям та відмова й забезпечення надійного транспортування газу.

#### Висвітлення основного матеріалу

Під час експлуатування міжпромислових газопроводів періодично виникають ускладнення, що негативно впливають на надійність транспортування газу і можуть призвести до зменшення його об'єму. Унаслідок зміни режимів експлуатування міжпромислових газопроводів відбувається постійне змінювання об'єму рідини в застійних зонах, пов'язане із процесами перерозподілу мас рідини вздовж ділянок газопроводу. Перерозподіл мас рідини ділянками газопроводу внаслідок досягнення величини критичного об'єму забруднень на одній із них або змінення режиму експлуатування газопроводу призводить до залпових викидів рідини з внутрішньої порожнини міжпромислового газопроводу до технологічного обладнання УКПГ тощо. Це може викликати аварії та відмови обладнання, забруднення довкілля, припинення подавання газу споживачам [5]. Через це доцільно провести дослідження для визначення ефективності експлуатування міжпромислових газопроводів. Для цього важливо визначити швидкість газового потоку та коефіцієнти теоретичного та фактичного гідравлічного опору.

Згідно з [6] коефіцієнт гідравлічного опору під час експлуатування газопроводу змінюється і багато в чому залежить від компонентного складу транспортованого газу. Наявність у газі сірководню призводить до корозії та підвищення коефіцієнта шорсткості внутрішньої поверхні труб. Найбільший вплив на гідравлічний опір має наявність у потоці газу рідинної фази, яка конденсується і накопичується у місцях пониження траси.

У зв'язку з викладеним вище для з'ясування причин зниження гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів доцільно детально

проаналізувати різні величини. Так, фахівці УкрНДІгазу проаналізували роботу двох міжпромислових газопроводів згідно з фактичною інформацією з добових зведень у диспетчерській службі Юліївського ЦВНГК, а також із рапортів та журналів об'єктів видобування УППГ Наріжнського НГКР, УКПГ-1 Скворцівського НГКР та УКПГ-2 Юліївського НГКР протягом різних періодів року. Окрім цього використано інформацію із проектів розроблення родовищ [7,8]. На основі наявної інформації сформовано електронну версію таблиці з вихідними даними. За результатами отриманої інформації визначено динаміку змін тисків, температур (на початку та у кінці газопроводів), об'єм транспортованого газу. Розраховано гідравлічну ефективність двох міжпромислових газопроводів Юліївського ЦВНГК.

Подано алгоритм розрахунку коефіцієнта гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів. У першу чергу на установках підготовки газу проводили відбір газу для проведення аналізу. Після цього за компонентним складом газу визначили молекулярну масу, густину газу, відносну густину та критичну температуру та тиск. Подальший розрахунок полягав у визначенні таких параметрів [9,10]:

1. Середнього тиску газу в газопроводі:

$$P_{cp} = \frac{2}{3} \cdot \left( P_n + \frac{P_k^2}{P_n + P_k} \right), \quad (1)$$

де  $P_n$  – тиск газу на початку газопроводу, МПа;  $P_k$  – тиск газу в кінці газопроводу, МПа.

2. Середньої температури газу в газопроводі:

$$T_{cp} = T_{cp} + \frac{T_n - T_k}{\ln \frac{T_n - T_{cp}}{T_k - T_{cp}}}, \quad (2)$$

де  $T_n$  – температура газу на початку газопроводу, К;  $T_k$  – температура газу в кінці газопроводу, К;  $T_{cp}$  – температура ґрунту, К.

3. Коефіцієнта стисливості газу за середніх значень тиску і температури:

$$Z_{cp} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{P_{cp} \cdot \Delta^{1,3}}{T_{cp}^{3,3}}, \quad (3)$$

де  $P_{cp}$  – середній тиск, МПа;  $\Delta$  – відносна густина газу за повітрям;  $T_{cp}$  – середня температура, К.

4. Середньої швидкості газу в газопроводі:

$$W_{cp} = \frac{4 \cdot Q \cdot 10^3}{\pi \cdot D_e^2 \cdot 86400} \cdot \frac{Z_{cp}}{Z_{cm}} \cdot \frac{P_{cm}}{P_{cp}} \cdot \frac{T_{cp}}{T_{cm}}, \quad (4)$$

де  $Q$  – об'єм транспортованого газу, тис.м<sup>3</sup>/доб;  $Z_{cp}$  – коефіцієнт стисливості за  $P_{cp}$  і  $T_{cp}$ ;  $P_{cm}$  – стандартний тиск у газопроводі, МПа;  $T_{cp}$  – середня температура газу в газопроводі, К;  $D_e$  – внутрішній діаметр газопроводу, м;  $Z_{cm}$  – коефіцієнт стисливості за  $P_{cm}$  і  $T_{cm}$ ;  $P_{cp}$  – середній тиск у газопроводі, МПа;  $T_{cm}$  – стандартна температура газу в газопроводі, К.

5. Числа Рейнольдса:

$$Re = 17,75 \cdot \frac{Q \cdot \Delta}{D_e \cdot \mu}, \quad (5)$$

де  $Q$  – об'єм транспортованого газу, млн.м<sup>3</sup>/доб;  $\Delta$  – відносна густина газу за повітрям;  $D_e$  – внутрішній діаметр газопроводу, м;  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості газу, Па·с.

6. Теоретичного значення коефіцієнта гідравлічного опору:

$$\lambda_m = 0,067 \cdot \left( \frac{158}{Re} + \frac{2 \cdot k_e}{D_e} \right)^{0,2}, \quad (6)$$

де  $Re$  – число Рейнольдса;  $k_e$  – коефіцієнт еквівалентної шорсткості труби, мм;  $D_e$  – внутрішній діаметр газопроводу, мм.

7. Фактичного значення коефіцієнта гідравлічного опору:

$$\lambda_\phi = \frac{(105,087)^2 \cdot D_e^5 \cdot (P_n^2 - P_k^2)}{\Delta \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot L \cdot Q^2}, \quad (7)$$

де  $D_e$  – внутрішній діаметр газопроводу, м;  $P_n$  – тиск газу на початку газопроводу, МПа;  $P_k$  – тиск газу в кінці газопроводу, МПа;  $\Delta$  – відносна густина газу за повітрям;  $Z_{cp}$  – коефіцієнт стисливості за  $P_{cp}$  і  $T_{cp}$ ;  $T_{cp}$  – середня температура газу в газопроводі, К;  $L$  – довжина газопроводу, км;  $Q$  – об'єм транспортованого газу, млн. м<sup>3</sup>/доб.

8. Коефіцієнта гідравлічної ефективності:

$$E = \sqrt{\frac{\lambda_m}{\lambda_\phi}}, \quad (8)$$

де  $\lambda_m$  – теоретичне значення коефіцієнта гідравлічного опору;  $\lambda_\phi$  – фактичне значення коефіцієнта гідравлічного опору.

Слід зазначити, що за результатами розрахунків коефіцієнт гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів перебуває в широкому діапазоні значень. Через це досліджено гідравлічну ефективність у різний період року та отримано такі результати:

1) для міжпромислового газопроводу від УППГ Наріжнського НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР коефіцієнт гідравлічної ефективності перебуває в межах від 75 % до 98 %;

2) для міжпромислового газопроводу від УКПГ-1 Скворцівського НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР коефіцієнт гідравлічної ефективності перебуває в межах від 69 % до 96 %.

Вочевидь, що коефіцієнт гідравлічної ефективності постійно змінюється в часі, що зумовлене багатьма чинниками. За умови змін температури доквілля, особливо в осінньо-зимовий період року, найчастіше спостерігали динаміку зниження гідравлічної ефективності, пов'язану не лише з наявністю рідини, але й гідратуотворенням. Установлено, що в разі збільшення об'єму транспортованого газу і за умови накопичення рідини у внутрішній порожнині в окремих випадках спостерігали не зростання гідравлічної ефективності,

а зменшення. Це явище зумовлене тим, що за умови досягнення критичного об'єму рідини у внутрішній порожнині міжпромислового газопроводу відбувається залповий викид її до сепараторів ГЗ-1, ГЗ-2 вимірювальних ліній УКПГ-2. Цей факт підтверджує збільшення видобутку об'єму рідини на вимірювальній лінії за певні дні. Тільки отримані результати розрахунків на основі фактичних параметрів роботи міжпромислових газопроводів дають підстави сказати про стабільність або нестабільність експлуатування міжпромислових газопроводів. Окрім цього, за допомогою розрахунків визначили об'єм забруднень у внутрішній порожнині газопроводів у різних період року та порівняли з фактичним.

Треба зазначити, що результати розрахунків об'єму забруднень мають наближений характер, оскільки на практиці вимірювання об'єму рідини із внутрішньої порожнини газопроводу на вимірювальній лінії відрізняється від розрахункового. Так, спочатку виміряли видобувні можливості свердловин на вимірювальних лініях на УППГ Наріжниського НГКР та УКПГ-1 Скворцівського НГКР, при цьому визначали об'єм газу, вуглеводневого конденсату та пластової води. Після цього відбирали газ, що надходить у міжпромислові газопроводи для визначення компонентного складу, густини, точки роси за вологою та за вуглеводнями. На підставі цього визначали об'єм рідини, яку видобувають на технологічних установках та яка надходить у міжпромислові газопроводи разом із газом під час транспортування. У подальшому проводили промислові дослідження з вимірювання об'єму рідини, яку транспортують разом із газом на вимірювальних лініях УКПГ-2 у сепараторах ГЗ-1, ГЗ-2 та розділювачах РЗ-1, РЗ-2. Таким чином, визначали об'єм рідини, як розрахунковим, так і дослідним шляхом. Так, за результатами проведених експериментальних досліджень об'єм накопичених забруднень у міжпромислових газопроводах був більший за розрахунковий на 6 – 15 %.

Під час проведення промислових досліджень на вимірювальних лініях УКПГ-2 із розділювачів вимірювальних РЗ-1, РЗ-2 відбирали проби отриманої рідини для аналізу вмісту забруднень. Результат аналізування забруднень свідчить, про те, що вони є складною багатокомпонентною композицією, яка містить: пластову та конденсаційну воду, вуглеводневий конденсат, механічні домішки, метанол у різних співвідношеннях.

З огляду на викладене вище, на підставі аналізування фактичних даних експлуатування міжпромислових газопроводів, чисельних розрахунків різних величин та промислових досліджень доцільно сформулювати основні чинники, що негативно впливають на коефіцієнт гідравлічної ефективності, а саме:

1) попадання забруднень зазвичай у внутрішню порожнину під час споруджування міжпромислового

газопроводу, зокрема виконання будівельно-монтажних робіт. У разі зварювання труб в одну нитку та вкладання в траншею у внутрішню порожнину можливе попадання різних забруднень – ґрунту, глини і піску, окалин, частинок металу після зварювання, води тощо. Після змонтування газопроводу його заповнюють водою за допомогою насосного агрегату та гідравлічно випробовують на міцність і перевіряють на герметичність. У разі отримання позитивного результату – газопровід герметичний, зазвичай витісняють з нього воду, наприклад, за допомогою під'єднання пересувної азотної компресорної станції і нагнітання інертної газової суміші або іншим джерелом високонапірного газу. І тільки після цього газопровід уводять в експлуатацію. Вочевидь, можна припустити, що по завершенню всіх робіт у внутрішній порожнині можуть перебувати залишки різних забруднень (рідинних та твердих).

Промивання водою набуло широкого поширення на газопроводах, що їх споруджують з одночасним гідравлічним випробовуванням. Однак його можна застосовувати тільки перед введенням газопроводів у експлуатацію через великі витрати води, потребу подальшого її утилізування і можливого забруднення довкілля. Так, за кордоном, особливо у США, Японії, Німеччині, Франції, широко використовують промивання газопроводів за допомогою мийних засобів [6]. Перевагою промивання порівняно з продуванням і очищенням різними пристроями є ліпше видалення забруднень, особливо важких вуглеводнів і мінеральних олій. Однак процес промивання є трудомістким і потребує значних об'ємів води та реагентів, а також технології застосовування цього заходу. Його реалізація призводить до зупинення експлуатування газопроводу на тривалий час. Отже, цей захід доцільно застосовувати під час споруджування газопроводів і перед введенням їх у експлуатацію (по завершенні успішного гідравлічного випробування).

2) зміння об'єму транспортованого газу через зменшення дебіту внаслідок різних причин як однієї, так і групи свердловин, що їх експлуатують на установці підготовляння газу, а потім цей газ подають у міжпромисловий газопровід. Через зниження дебіту свердловин відбувається й зниження швидкості газового потоку. Згідно з [11] у разі зменшення швидкості до 5 – 11 м/с відбувається аперіодичний хвильовий рух рідини, що супроводжується викиданням її з коліна, за умови зменшення швидкості нижче за 5 м/с має місце процес поступового накопичення рідинних забруднень;

3) зниження якості підготовляння газу і як наслідок винесення рідини (пластової води із домішками метанолу, солей, глини, піску, продуктів корозії труб та вуглеводневого конденсату) газовим потоком із сепараторів у міжпромисловий газопровід, виникнення залпових викидів унаслідок порушення технологічного режиму установки підготовляння

газу. Причини зниження якості підготовки газу можуть бути різні, наприклад, аварії та відмови на установках підготовки газу, введення свердловин у експлуатацію із високим дебітом після буріння, проведення капітального ремонту, інтенсифікації тощо і при цьому сепараційне обладнання не забезпечує відділення рідини, оскільки продуктивність наближається до максимальних паспортних характеристик. Іншою причиною може бути поступове зростання на свердловинах водного фактору. Так, збільшення об'єму рідини в продукції свердловин може негативно вплинути на режим роботи сепараційного обладнання установки підготовки газу. Через це можливе зниження ефективності відділення рідинної фази з газового потоку. Отже, доцільно проводити періодичні дослідження сепараційного обладнання для визначення ефективності його роботи з відділення рідинної фази. У разі зниження ефективності роботи сепараційного обладнання розглянути доцільність його заміни або модернізації;

4) конденсування рідини у внутрішній порожнині за певного температурного режиму газу в газопроводі. На конденсування рідини у трубопроводі мають вплив різні чинники: температура і тиск газу, який подають у міжпромисловий газопровід, а також зниження температури через утрати тепла по довжині (теплообмін від газу до ґрунту), періоду року (температура довкілля) тощо. Визначаючи середню температуру в газопроводі, ураховують температуру ґрунту на глибині його прокладання із використанням довідкових даних. Так, для розрахунків у [12,13] подано дані про температуру ґрунту в різних регіонах України по місяцях протягом року.

Для зменшення втрат тепла у міжпромисловому газопроводі доцільно передбачити високоякісне ізолювання та виконати його із використанням енергозощаджувальних матеріалів, наприклад, пінополіуретану тощо;

5) змінення стану внутрішньої поверхні труб газопроводу – шорсткість труб (змінюється за умов: тертя газового потоку об внутрішні поверхні труб через наявність твердих частин, налипання пірофорних відкладів, змочування стінок труби вуглеводневим конденсатом і налипання твердих частинок тощо). Слід зазначити, що у разі зростання шорсткості труб газопроводу збільшується коефіцієнт гідравлічного опору. Для контролю коефіцієнта шорсткості труб необхідно дослідити стан внутрішньої поверхні труб по всій довжині. Це дасть змогу мати достовірну інформацію і використовувати для розрахунків потрібне значення еквівалентної шорсткості.

У [12,14] подано значення еквівалентної шорсткості для труб, виготовлених із різних матеріалів. Треба зазначити, що для сталевих зварних труб еквівалентна шорсткість перебуває в широкому діапазоні значень від 0,03 мм до 4,0 мм. Значення залежить від характеристики труб. Наприклад, для

сталевих зварних труб – нових і чистих – значення еквівалентної шорсткості перебуває в межах від 0,03 мм до 0,12 мм. Для наближених розрахунків приймають значення коефіцієнта еквівалентної шорсткості  $k_e = 0,03$  мм;

6) корозія внутрішньої поверхні стінки труби спричинена різними чинниками (наявність у складі газу агресивних компонентів: сірководню, вуглекислого газу, кислот тощо). На газопроводах контролюють корозійний стан як зовнішньої стінки труб, так і внутрішньої. Корозія металу внутрішньої стінки труби призводить до збільшення шорсткості і, як наслідок, гідравлічного опору.

У разі зовнішньої корозії можливе руйнування стінки газопроводу та виходу газу на поверхню землі, що призводить до аварії. Відомо, допустима швидкість корозії у нафтогазовому обладнанні не повинна перевищувати 0,12 мм/рік [15], яка є допустимою згідно з [16]. У разі якщо понад 0,12 мм/рік – доцільно розробляти та вживати відповідних заходів для зменшення корозійної активності металу.

Контроль за корозією металу стінки газопроводу виконують так:

- здійснюють обхід траси міжпромислового газопроводу за розробленим маршрутом;

- перевіряють загазованість наземної території за розробленою схемою прокладання міжпромислового газопроводу з прив'язкою до наземної території (дороги, лісосмути, земельних ділянок тощо) для виявлення наявності утрат газу;

- візуально оглядають наземні ділянки газопроводів та перекривну арматуру;

- визначають швидкість корозії за контрольними зразками, які встановлюють у вузлах обладнання на певний період часу, а потім у лабораторних умовах вимірюють утрати маси матеріалу;

- відбирають проби рідини із внутрішньої порожнини для аналізування на вміст іонів заліза двовалентного і тривалентного;

- відбирають проби транспортованого газу для визначення компонентного складу;

- шурфують міжпромисловий газопровід вздовж траси з метою визначити стан ізоляційного покриття та вимірюють товщину стінки труб;

- діагностично обстежують внутрішню порожнину міжпромислового газопроводу.

Для захисту газопроводів від внутрішньої корозії застосовують інгібування, що передбачає подавання розчину інгібітора корозії у різному відсотковому співвідношенні. Натомість для захисту від зовнішньої (електрохімічної) корозії застосовують катодний і протекторний захист, а від блукливих струмів – електродренажні поляризовані установки;

7) профіль траси – висхідні та низхідні ділянки, природні та штучні перешкоди. Аналізуючи профіль рельєфу, можна спрогнозувати місця найімовірнішого накопичення рідини та передбачити

застосування пристроїв для відведення рідини (встановлення конденсатозбірників, розширювальних камер, дрипів тощо);

8) місцеві опори – відводи, переходи, трійники, розширення, звуження, зварні стики, термокишені, а також перекривна арматура (засувки, шарові крани, кутові вентилі) тощо. Проаналізувавши проектну документацію на міжпромисловий газопровід, можна обрати перелік усіх місцевих опорів і на основі довідкових даних про різні значення коефіцієнтів виконати наближений оцінний розрахунок утрат тиску в місцевих опорах.

У [12,13] подано алгоритм розрахунків утрат тиску в місцевих опорах та довідкові значення різних коефіцієнтів цих опорів;

9) гідратоутворення внаслідок змінення термодинамічних властивостей під час транспортування газу. Гідрати у газопроводах відкладаються, як на прямолінійних ділянках, так і у місцевих опорах (відводах, трійниках, зварних стиках), у місцях переходів діаметрів, понижених ділянках траси, перекривній арматурі тощо. Також гідрати можуть відкладатися у важкопередбачуваних місцях різних ділянок газопроводів у разі певних умов для їх утворення. Отже, для своєчасного запобігання утворенню гідратів треба знати умови їх виникнення і прогнозувати місця їх можливих відкладів;

10) зниження швидкості газового потоку внаслідок накопиченої рідини (пластової та конденсаційної води, вуглеводневого конденсату, метанолу) у понижених ділянках. Накопичення рідини створює додаткові місцеві опори, які впливають на режим роботи міжпромислового газопроводу і знижують газовий потік до значення, меншого ніж потрібно для винесення рідини із внутрішньої порожнини, а також збільшують гідравлічний опір;

11) нерівнопрохідність газопроводу (переходи діаметрів) сприяє зниженню температури. Унаслідок зниження температури можливе як конденсування рідини, так і відкладання гідратів. Через це такі ділянки газопроводу можна віднести до небезпечних, для яких характерна велика ймовірність відкладання гідратів;

12) змінення тиску в газопроводі споживача (зростання) призводить до змінення тиску на всій ділянці руху газу від устя свердловини до установки підготовки газу, а в подальшому відповідно до початкового та кінцевого тиску у міжпромисловому газопроводі, що може негативно вплинути на об'єм транспортованого газу, знижуючи його. Змінення тиску в газопроводі споживача часто спостерігають у літній період року, що зумовлено зменшенням об'єму споживаного газу;

13) фізико-хімічні характеристики транспортованої продукції (компонентний склад, густина, температура точки роси за вологою та за вуглеводнями). Під час експлуатування свердловин і відповідно транспортування газу міжпромисловими

газопроводами його склад змінюється. Наявність у транспортованому газі важких вуглеводнів збільшує ймовірність конденсування рідини. Окрім цього, висока температура точки роси теж сприяє конденсуванню рідини;

14) матеріал газопроводу (марка сталі) та стан внутрішнього покриття, виконаного за заводських умов. Одним із ефективних заходів, що дасть змогу надійно експлуатувати газопроводи, є нанесення на внутрішню поверхню труб спеціального покриття для зниження шорсткості. Цей захід сприятиме кращому руху газорідного потоку та недопущенню відкладання гідратів;

15) вплив температури довкілля у разі проходження міжпромислового газопроводу надземними ділянками. У такому випадку відбувається вплив температури довкілля на зовнішню стінку трубопроводу, що може призвести до змінення температури газового потоку і відповідно сприятиме конденсуванню рідини або гідратоутворенню;

16) надходження рідини з іншого міжпромислового газопроводу. У разі під'єднання кількох міжпромислових газопроводів можливе періодичне надходження рідини із газовим потоком з одного в інший. Так, наприклад, до міжпромислового газопроводу від УКПГ-1 Скворцівського НГКР до УКПГ-2 Юлівського НГКР під'єднаний інший міжпромисловий газопровід від УКПГ-2 до УКПГ-1 Скворцівського НГКР, завдяки чому вуглеводневу сировину із двох установок підготовки газу транспортують одним газопроводом. Отже, можна припустити, що рідина частково потрапляє з одного у другий міжпромисловий газопровід;

17) фактичний діаметр міжпромислового газопроводу значно більший необхідного. У разі транспортування малого об'єму газу неможливо забезпечити потрібну швидкість газового потоку для винесення рідини із внутрішньої порожнини, що сприятиме її поступовому накопиченню;

18) залпові викиди рідини із внутрішньої порожнини міжпромислового газопроводу на установку підготовки газу. Під час експлуатування міжпромислових газопроводів відбувається як змінення режиму експлуатування, так і об'єму накопиченої рідини у внутрішній порожнині, і за умови її зростання до критичного значення відбуваються залпові викиди її до сепараційного обладнання УКПГ-2. У ході досліджень в сепараторах ГЗ-1, ГЗ-2 вимірювальних ліній УКПГ-2 протягом певного періоду спостерігали різний об'єм вилученої рідини, а в окремі дні – її суттєве зростання. Підтвердженням цього було змінення параметрів експлуатування міжпромислових газопроводів, а також зростання їх гідравлічної ефективності завдяки зменшенню об'єму накопиченої рідини у внутрішній порожнині.

Під час промислових досліджень встановлено, що накопичення рідини у понижених ділянках міжпромислового газопроводу створює додаткові місцеві опори, які негативно впливають на

забезпечення потрібної швидкості газового потоку для винесення водоконденсатної суміші, а у окремих випадках – до зниження об'єму транспортованого газу або ж припинення транспортування взагалі. Окрім цього, мають місце гідратоутворення на різних ділянках міжпромислового газопроводу, які можуть сягати значної довжини. Важливим є те, що гідрати природних газів хоча і є твердими кристалічними сполуками, але змінення термобаричних умов призводить до їх розкладання. Однак, якщо певні термобаричні умови зберігаються, відклади гідратів у газопроводі можуть перебувати тривалий час.

Отже, подані ускладнення безумовно мають великий вплив на гідравлічний опір міжпромислового газопроводу і призводять до зниження гідравлічної ефективності та відповідно пропускної здатності. Наслідком цих ускладнень є значні втрати тиску по довжині газопроводу.

Аналізування причин утворення рідинних забруднень в порожнині двох міжпромислових газопроводів свідчить про можливість їх появи внаслідок:

- механічного крапельного винесення рідини із сепаратора;

- конденсування рідини з газового потоку за сприятливих термодинамічних умов трасою промислового газопроводу.

За результатами розрахунків та досліджень установлено причину потрапляння рідини у міжпромислові газопроводи через те, що на УППГ Наріжниського НГКР та УКПГ-1 Сквирицького НГКР відбувається одноступеневе сепарування газу. Окрім цього, можливі залпові викиди рідини із сепараторів у міжпромисловий газопровід.

Очевидно, рідина (вода та вуглеводневий конденсат) є основним чинником, що знижує пропускну здатність міжпромислових газопроводів. Підвищення гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів можна досягти високоякісним підготовлянням газу відповідно на УППГ Наріжниського НГКР та УКПГ-1 Сквирицького НГКР, а також ефективним очищенням внутрішньої порожнини газопроводів різними методами.

Слід сказати, що окрім рідини на роботу міжпромислових газопроводів негативно впливає гідратоутворення. Відкладання гідратів спостерігають на різних відстанях по міжпромислових газопроводах. Часто гідратоутворення спостерігають у другій половині ділянки газопроводів або на відстані близько одного, двох кілометрів від УКПГ-2 Юліївського НГКР, що зумовлено зниженням температури газового потоку через наявність багатьох місцевих опорів і відповідно створенням певних умов. Для запобігання гідратоутворенню подають інгібітор гідратоутворення різними способами. Так, наприклад, подають інгібітор гідратоутворення за допомогою дозувальних насосів, пересувного

насосного агрегату в потік газу за напрямком руху газового потоку, за умови зниження тиску у газопроводі, або навпаки його зростання після зупинення потоку на певний період часу.

Для своєчасного виявлення ускладнень пов'язаних, як з накопиченням рідини, так і з гідратоутворенням персонал технологічних установок фіксує тиск, температуру та об'єм протранспортованого газу і записує у рапорт та журнал. За наявними даними виконують розрахунки з визначення таких параметрів: швидкість газового потоку, гідравлічна ефективність, втрати тиску по довжині. Таким чином, фахівці промислу аналізують робочі параметри міжпромислових газопроводів, а також результати розрахунків, що дає змогу своєчасно вживати різних заходів для запобігання ускладненням та боротьби з ними.

Для забезпечення надійного експлуатування міжпромислових газопроводів розроблено низку різних заходів, які дають змогу забезпечувати надійне транспортування газу. Розглянемо нижче заходи, яких уживають індивідуально до кожного із міжпромислових газопроводів.

1) Міжпромисловий газопровід від УППГ Наріжниського НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР:

- а) для поліпшення очищення газу на УППГ Наріжниського НГКР послідовно під'єднано два сепаратори: основний ГС-1 та дослідний ГС-2. Це дасть змогу додатково очищувати газ за рахунок його надходження у послідовно під'єднані сепаратори;

- б) для забезпечення винесення рідини газовим потоком із внутрішньої порожнини газопроводу періодично закачують розчин ПАР на УППГ Наріжниського НГКР за допомогою пересувного насосного агрегату;

- в) створюють швидкісний газовий потік для винесення накопиченої рідини із внутрішньої порожнини на УКПГ-2 Юліївського НГКР за рахунок припинення транспортування газу, а потім його відновлення;

- г) для запобігання гідратоутворенню у внутрішній порожнині газопроводу періодично подають метанол за допомогою наявних насосів, розташованих на території УППГ Наріжниського НГКР.

2) Міжпромисловий газопровід від УКПГ-1 Сквирицького НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР:

- а) для запобігання відкладанню гідратів у внутрішній порожнині газопроводу періодично або постійно подають метанол за допомогою насосів із УКПГ-1 Сквирицького НГКР. Окрім цього, періодично закачують метанол за допомогою пересувного насосного агрегату за умови:

- фактичного режиму експлуатування міжпромислового газопроводу або його змінення; при цьому інгібітор гідратоутворення подають у внутрішню порожнину трубопроводу із УКПГ-1 Сквирицького НГКР;



– зупинки на певний період свердловин, з яких подають вуглеводневу сировину у міжпромисловий газопровід. Потім частково знижують тиск у міжпромисловому газопроводі, що сприятиме розкладанню гідратів; після цього інгібітор гідратоутворення подають у внутрішню порожнину трубопроводу із УКПГ-1 Сквирицького НГКР, а потім вводять зупинені свердловини в експлуатацію, що дасть змогу створити швидкісний газовий потік для винесення залишків гідратів на УКПГ-2 Юліївського НГКР;

– зупинки на певний період свердловин, з яких подають вуглеводневу сировину у міжпромисловий газопровід. Після цього інгібітор гідратоутворення подають у внутрішню порожнину трубопроводу із УКПГ-1 Сквирицького НГКР, а потім вводять зупинені свердловини в експлуатацію, що дасть змогу створити швидкісний газовий потік для винесення залишків гідратів на УКПГ-2 Юліївського НГКР.

б) внутрішню порожнину очищують за допомогою швидкісного газового потоку, який забезпечують переведенням міжпромислового газопроводу в роботу на УКПГ-1, де тиск першого ступеня сепарації є нижчим ніж на УКПГ-2 Юліївського НГКР;

в) закачують розчин ПАР у міжпромисловий газопровід із УКПГ-1 Сквирицького НГКР для винесення рідини газовим потоком на УКПГ-2 Юліївського НГКР.

Завдяки застосуванню розроблених заходів на практиці можна забезпечувати стабільну експлуатацію міжпромислових газопроводів і не допустити зниження транспортування газу.

У подальшому для стабільної експлуатації міжпромислових газопроводів рекомендовані такі заходи:

– для оперативного контролювання параметрів експлуатації міжпромислових газопроводів на початку та в кінці доцільно встановити давачі тиску і температури з отриманням робочих параметрів на автоматизованому робочому місці (АРМ) диспетчера. Це дасть змогу відслідковувати змінення термобаричних параметрів та своєчасно вживати заходи для запобігання можливим ускладненням;

– створити електронний журнал, наприклад, у файлі MS Excel, у який вносити фактичні дані тиску, температури та щодобові об'єми протранспортованого міжпромисловими газопроводами газу. Це дасть змогу слідкувати за динамікою змін параметрів роботи міжпромислових газопроводів та переглядати архівні дані;

– за фактичними даними тиску і температури побудувати залежність зміни параметрів по довжині міжпромислових газопроводів при стабільній і нестабільній їх роботі. У випадку зниження параметрів установити ймовірні причини цих ускладнень;

– розробити програмне забезпечення для визначення основних параметрів ефективної

експлуатації міжпромислових газопроводів (швидкості газового потоку, коефіцієнта гідралічного опору теоретичного та фактичного, гідралічної ефективності) та з подальшим установленням на АРМ диспетчера для проведення розрахунків в реальному часі;

– модернізувати сепараційне обладнання на УППГ Наріжниського НГКР та УКПГ-1 Сквирицького НГКР установленням додаткового або заміненням на нове згідно з виконаними техніко-економічними розрахунками;

– установити на міжпромислових газопроводах у пониженних ділянках розширювальні камери для запобігання накопиченню рідини;

– застосовувати раціональні методи очищення внутрішньої порожнини міжпромислових газопроводів на основі проведених досліджень, наприклад, використовувати піни середньої та високої кратності, створювати швидкісний газовий потік тощо;

– періодично створювати швидкісний газовий потік у міжпромислових газопроводах зниженням тиску першого ступеня сепарації на УКПГ-2 Юліївського НГКР на певний період часу;

– спорудити інгібіторопровід від УКПГ-2 до місця переходу зовнішніх діаметрів із 114 мм на 159 мм на міжпромисловому газопроводі від УКПГ-1 Сквирицького НГКР до УКПГ-2 Юліївського НГКР, що дасть змогу запобігти гідратоутворенню на ділянці із наявністю значної кількості місцевих опорів.

## Висновки

Проаналізовано наявний стан двох міжпромислових газопроводів. На основі фактичних даних проведено розрахунки із визначення ефективності експлуатації міжпромислових газопроводів. Треба зазначити, що коефіцієнт гідралічної ефективності на двох міжпромислових газопроводах змінюється у часі в широкому діапазоні, зокрема на одному від 75 % до 98 %, а на другому від 69 % до 96 %. Однією з основних причин цього зниження є накопичення рідини у внутрішній порожнині міжпромислових газопроводів та гідратоутворення. Установлено, що результати розрахунків об'єму забруднень у внутрішній порожнині міжпромислового газопроводу мають наближений характер. Так, за результатами проведених експериментальних досліджень об'єм накопичених забруднень у міжпромислових газопроводах був більший за розрахунковий на 6 – 15 %. Для підвищення ефективності експлуатації міжпромислових газопроводів рекомендовано моніторити гідралічний стан, що дасть змогу своєчасно вжити відповідних заходів із очищення внутрішньої порожнини.

За результатами розрахунків, промислових досліджень та фактичних даних сформульовано основні чинники, які призводять до зниження

коефіцієнта гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів. Це дасть змогу ретельно контролювати різні чинники задля недопущення зниження коефіцієнта гідравлічної ефективності та зменшення об'єму транспортованого газу, що негативно впливає на досягнення планових показників з видобутку.

Автори рекомендують низку технологічних заходів, основними з яких є: модернізувати сепараційне обладнання або замінити його на нове, що дасть змогу поліпшити якість підготовленого газу; установити розширювальні камери на понижених ділянках; застосовувати раціональні методи очищення внутрішньої порожнини міжпромислових газопроводів на основі промислових досліджень.

#### Список літератури

1. Ковалко, М. П. Трубопровідний транспорт газу / М. П. Ковалко, В. Я. Грудз, В. Б. Михалків, Д. Ф. Тимків, Л. С. Шлапак, О. М. Ковалко. – Київ: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. – 600 с.
2. Воловецький, В. Б. Способи очищення внутрішньої порожнини шлейфів газових та газоконденсатних свердловин / В. Б. Воловецький, О. Ю. Витязь, В. І. Коцаба, О. М. Щирба // *Нафтогазова енергетика*. – 2015. – Вип. 2 (24). – С. 32-43.
3. Воловецький, В. Б. Дослідження гідравлічної ефективності міжпромислового газопроводу від УППГ Наріжниського ГРП до УКПГ 2 Юліївського НГРП / В. Б. Воловецький, О. Ю. Витязь, О. М. Щирба, В. І. Коцаба, Н. М. Коцаба / *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2012. – Вип. 3 (44). – С. 158-165.
4. Воловецький, В. Б. Аналіз причин зниження гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів та вибір способів її підвищення / В. Б. Воловецький, О. М. Щирба, О. Ю. Витязь, Я. В. Дорошенко // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2013. – Вип. 3 (48). – С. 147-155.
5. Братах, М. І. Динаміка рідинних формувань в порожнині міжпромислового газопроводу / М. І. Братах, І. М. Рuzина, А. В. Соболєва // *Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наукових праць*. – Х.: 2009. – Вип. XXXVII. – С. 287-293.
6. Дячук, В. В. Очистка газопроводів с допомогою пен / В. В. Дячук, В. К. Тихомиров, В. Н. Гончаров, И. И. Капцов. – Одесса: "Папирус", 2002. – 210 с.
7. Комплексний проект розробки газоконденсатних та нафтових покладів Скворцівського НГРП, звіт про НДР, за договором 100 ХГВ/2009-2009 (тема 51.215/2009-2009).
8. Уточнений проект розробки Наріжниського НГРП (заключний), звіт про НДР, за договором 100 ХГВ/2010-2010 (тема 51.258/2010-2010).
9. Бойко, В. С. Довідник з нафтогазової справи / В. С. Бойко, Р. М. Кондрат, Р. С. Яремійчук. – Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. – Львів, 1996. – 620 с.
10. ОНТП 51-1-85 Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. Мингазпром. – Москва, 1986.

11. Капцов, І. І. Причини збільшення перепадів тиску по трасі газопроводів системи видобутку і збору газу / І. І. Капцов, Г. О. Хоменко, М. І. Братах // *Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наукових праць*. – Х.: 2005. – Вип. XXXIII. – С. 99-107.
12. Братах, М. І. Основы межпромышленного транспорта газа / М. И. Братах, В. Г. Топоров, М. И. Фык. – Харьков: Эксклюзив, 2016. – 248 с.
13. Волков, М. М. Справочник работника газовой промышленности / М. М. Волков, А. Л. Михеев, А. А. Конев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 286 с.
14. Альтшуль, А. Д. Гидравлические сопротивления / А. Д. Альтшуль. – 2-е издание перераб. и доп. М.: Недра, 1982. – 224 с.
15. Мельник, А. П. Дослідження захисних властивостей інгібіторів корозії у середовищах технологічного обладнання Яблунівського ВПГ / А. П. Мельник, С. В. Кривуля, В. А. Лактіонов, Д. О. Дегтярьов // *Нафтогазова галузь України*. – 2018. – №6. – С. 29-34.
16. NACE RP0775-2005 Preparation, Installation, Analysis and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operation. – Houston: NACE International, 2005. – 16 p.

#### References (transliterated)

1. Kovalko, M. P., Hrudz, V. Ya., Mykhalkiv, V. B., Tymkiv, D. F., Shlapak, L. S., Kovalko, O. M. Truboprovodnyi transport hazu. – Kyiv: Ahentstvo z ratsionalnoho vykorystannia enerhii ta ekolohii, 2002.-600 s.
2. Volovetskyi, V. B., Vytiaz, O. Yu., Kotsaba, V. I., Shchyrba, O. M. Sposoby ochyshchennia vnutrishnoi porozhnyny shleifiv hazovykh ta hazokondensatnykh sverdlovyh. *Naftohazova enerhetyka*, 2015, 2 (24), 32-43.
3. Volovetskyi, V. B., Vytiaz, O. Yu., Shchyrba, O. M., Kotsaba, V. I., Kotsaba, N. M. Doslidzhennia hidravlichnoi efektyvnosti mizhpromyslovoho hazoprovodu vid UPPH Narizhnianskoho HKR do UKPH 2 Yulivskoho NHRP. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, 2012, 3 (44), 158-165.
4. Volovetskyi, V. B., Shchyrba, O. M., Vytiaz, O. Yu., Doroshenko, Ya. V. Analiz prychyn znyzhennia hidravlichnoi efektyvnosti mizhpromyslovykh hazoprovodiv ta vybir sposobiv yii pidvyshchennia. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, 2013, 3 (48), 147-155.
5. Bratakh, M. I., Ruzina, I. M., Soboleva, A. V. Dynamika ridynnykh formuvan v porozhnyni mizhpromyslovoho hazoprovodu. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy: Zb. naukovykh prats*, Kh.:2009, XXXVII,287-293.
6. Diachuk, V. V., Tikhomirov, V. K., Goncharov, V. N., Kaptsov, I. I. Ochistka gazoprovodov s pomoshchiu pen. Odessa: "Papirus", 2002. – 210 s.
7. Kompleksnyi proekt rozrobky hazokondensatnykh ta naftovykh pokladiv Skvortsivskoho NHRP, zvit pro NDR, za dohovorem 100 KHHV/2009-2009 (tema 51.215/2009-2009).
8. Utochnenyi proekt rozrobky Narizhnianskoho NHRP (zakliuchnyi), zvit pro NDR, za dohovorem 100 KHHV/2010-2010 (tema 51.258/2010-2010).
9. Boiko, V. S., Kondrat, R. M., Yaremichuk, R. S. Dovidnyk z naftohazovoi spravy. Ivano-Frankiv. nats. tekhn. un-t nafty i hazu. – Lviv, 1996. – 620 s.
10. ONTP 51-1-85 Obshchesoiuznyie normy tekhnologicheskogo proektirovaniia. Magistralnyie truboprovody. Chast 1. Gazoprovody. Mingazprom. – Moskva, 1986.

11. **Kaptsov, I. I., Khomenko, H. O., Bratakh, M. I.** Prychyny zbilshennia perepadiv tysku po trasi hazoprovodiv systemy vydobutku i zboru hazu. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy: Zb. naukovykh prats*, Kh.: 2005, XXXIII, 99-107.
12. **Bratakh, M. I., Toporov, V. G., Fyk, M. I.** Osnovy mezhpromyslovogo transporta gaza. – Kharkov: Ekskluziv, 2016. – 248 s.
13. **Volkov, M. M., Mikheiev, A. L., Koniev, A. A.** Spravochnik rabotnika gazovoi promyshlennosti. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Niedra, 1989. – 286 s.
14. **Altshul, A. D.** Gidravlicheskiye soprotivleniia. 2-e izdaniie pererab. i dop. M.: Niedra, 1982. – 224 s.
15. **Melnyk, A. P., Kryvulia, S. V., Laktionov, V. A., Dehtiarov, D. O.** Doslidzhennia zakhysnykh vlastyvostei inhibitoriv korozii u seredovyshchakh tekhnolohichnoho obladnannia Yablunivskoho VPH. *Naftohazova haluz Ukrainy*, 2018, 6, 29–34.
16. NACE RP0775-2005 Preparation, Installation, Analysis and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operation. – Houston: NACE International, 2005. – 16 p.

#### Відомості про авторів (About the Authors)

**Воловецький Володимир Богданович** – старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів «УкрНДІгаз», м. Харків; Україна; <https://orcid.org/0000-0001-8575-5143>; e-mail: [vvb11@ukr.net](mailto:vvb11@ukr.net).

**Volodymyr Volovetskyi** – senior research worker, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases «UkrNDIgaz», Kharkiv; Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-8575-5143>; e-mail: [vvb11@ukr.net](mailto:vvb11@ukr.net).

**Щирба Оксана Миколаївна** – начальник відділу, Український науково-дослідний інститут природних газів «УкрНДІгаз», м. Харків; Україна; <https://orcid.org/0000-0002-4584-7446>; e-mail: [omschyrba@ukr.net](mailto:omschyrba@ukr.net).

**Oksana Shchyrba** – head of department, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases «UkrNDIgaz», Kharkiv; Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-4584-7446>; e-mail: [omschyrba@ukr.net](mailto:omschyrba@ukr.net).

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Воловецький, В. Б.** Дослідження гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів / **В. Б. Воловецький, О. М. Щирба** // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 1. – С. 3-13. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.01.

*Please cite this article as:*

**Volovetskyi, V., Shchyrba, O.** Investigation of the hydraulic efficiency of gathering gas pipelines. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 1, 3–13, doi:10.20998/2413-4295.2019.01.01.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Воловецкий, В. Б.** Исследования гидравлической эффективности межпромысловых газопроводов / **В. Б. Воловецкий, О. Н. Щирба** // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 1. – С. 3-13. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.01.

**АННОТАЦІЯ** Проаналізовано існуюче стан двох міжпромислових газопроводів: одного від установки попередньої підготовки газу (УППГ) Наріжнського нафтегазоконденсатного родовища (НГКМ) до установки комплексної підготовки газу-2 (УКПГ-2) Юльєвського НГКМ і другого – від УКПГ-1 Скворцовського НГКМ до УКПГ-2 Юльєвського НГКМ. В різне час року визначено гідравлічну ефективність міжпромислових газопроводів, яка знаходиться в широкому діапазоні: від 75 % до 98 % на одному і від 69 % до 96 % на другому. Вивчені режими роботи міжпромислових газопроводів. Визначено обсяг забруднень на промислах з допомогою розрахунків. Проведені промислові дослідження по вимірюванню обсягу забруднень, транспортуваних разом з газом, на вимірних лініях УКПГ-2 в сепараторах і розподільцях. Встановлено, що обсяг забруднень, визначений по результатам проведених експериментальних досліджень є більшим розрахункового значення. Сформульовані основні фактори, негативно впливаючі на гідравлічну ефективність газопроводу. Контроль вказаних основних факторів дозволить не допустити зниження коефіцієнта гідравлічної ефективності і зменшення обсягу транспортованого газу, а також забезпечити досягнення планових показників по добычі. Встановлено основні причини зниження гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів в зв'язі з накопиченням рідинної забрудненості в внутрішній порожнині і гідратоутвореннями. Представлено шляхи вирішення цих проблем, які введено, а також застосовуються на виробництві в даний час. В частині, закачують розчин ПАВ з допомогою переміжного насосного агрегату, створюють швидкісний газовий потік для видалення накопленої рідинності з внутрішньої порожнини міжпромислових газопроводів на УКПГ-2 Юльєвського НГКМ і подають метанол з допомогою існуючих насосів з УППГ Наріжнського НГКМ і УКПГ-1 Скворцовського НГКМ. Автори запропонували ряд заходів по запобігання аварій і відмов, забезпечуючі надійну експлуатацію міжпромислових газопроводів. Системність проводимих досліджень дозволить оцінити можливість виникнення ускладнень з-за накопичення рідинності і утворення гідратів.

**Ключові слова:** скважина; газ; міжпромисловий газопровід; накопичення рідинності; гідратоутворення; гідравлічна ефективність.

Надійшла (received) 01.09.2019